

Die mysteriöse Gleichgewichts-Klimasensitivität (ECS) im AR 6 des IPCC, Teil 1

geschrieben von Chris Frey | 26. April 2023

[Andy May](#)

Die Klimaempfindlichkeit gegenüber CO₂ und anderen Treibhausgasen (THG) ist wohl die wichtigste Zahl in der Debatte über den Klimawandel. Im AR6 [1] wird behauptet, die Empfindlichkeit, die als „ECS“ oder Gleichgewichts-Klimasensitivität bezeichnet wird, betrage drei Grad pro Verdoppelung des CO₂, oder 3°C/2xCO₂ („2xCO₂“ bedeutet einfach pro Verdoppelung der atmosphärischen CO₂-Konzentration). Sie behaupten, die sehr wahrscheinliche (10 % bis 90 %) Spanne möglicher Werte liege bei 2 bis 5°C/2xCO₂ und die wahrscheinliche (66 %) Spanne habe sich auf 2,5 bis 4°C eingengt. Seit 1979, mit der Veröffentlichung des Charney-Berichts [2], lag die Spanne möglicher ECS-Werte normalerweise zwischen 1,5 und 4,5°C bei einer Gesamtspanne von 3°C. Wie hat sie sich nun auf 2,5 bis 4°C eingengt, was einer vollen wahrscheinlichen Unsicherheitsspanne von nur 1,5°C entspricht? Es ist allgemein anerkannt, dass der direkte Erwärmungseffekt von CO₂ und anderen Treibhausgasen gering ist, nämlich nur etwa ein Grad pro Verdoppelung des CO₂, [3] so dass sich die Debatte nur um die Rückkopplungen dreht, insbesondere um die Rückkopplung der Wolken auf die Erwärmung durch Treibhausgase. [4]

Die tatsächliche Auswirkung einer Änderung der CO₂- und Treibhausgas-Konzentration in der Atmosphäre auf das Klima, ob natürlich oder vom Menschen verursacht, wurde nie gemessen, sondern nur modelliert. ECS ist definiert als die endgültige Erwärmung infolge einer sofortigen Verdopplung der atmosphärischen CO₂-Konzentration. Die endgültige Reaktion des Klimas auf diese Verdopplung wird erst in Hunderten oder Tausenden von Jahren eintreten, und alles andere, was das Klima beeinflusst, wie Bewölkung und Sonneneinstrahlung, wird nicht so lange statisch bleiben, daher handelt es sich um eine künstliche Größe, die nicht gemessen werden kann. Wichtig ist, dass die IPCC-Schätzung des ECS wahrscheinlich nicht durch Messungen in der realen Welt falsifiziert werden kann, was bedeutet, dass es sich nicht um eine echte wissenschaftliche Hypothese handelt. Selbst mit einem Klimamodell ist dies schwierig, wie Sherwood et al. schreiben:

„Die Berechnung der ECS in einem vollständig gekoppelten Klimamodell erfordert sehr lange Integrationen (>1.000 Jahre).“ [5]

Ein relevanteres Maß für die Klimasensitivität ist die transiente Klimareaktion (TCR), die ebenfalls von den AR6/CMIP6-Klimamodellen

berechnet wird. Dabei handelt es sich um die Reaktion des Klimas auf einen stetigen Anstieg der CO₂-Konzentration um etwa 1 % pro Jahr bis zu dem Punkt, an dem sich das CO₂ verdoppelt, d. h. in etwa 70 Jahren [6], was realistischer und angesichts des kurzen Zeitrahmens möglicherweise auch in der realen Welt messbar ist. Sherwood et al. [6], eine Quelle, auf die sich der AR6 stützt (in Kapitel 7 wird das Sherwood-Papier 43 Mal erwähnt), definiert einen Begriff namens „effektive Klimasensitivität“, der die Reaktion des Klimas auf eine sofortige Verdopplung des CO₂ oder genauer gesagt die Hälfte der Reaktion des Klimas auf eine sofortige Vervierfachung des CO₂ bezeichnet. Durch den Zusatz „effektiv“ anstelle von „Gleichgewicht“ wurde der Zeitrahmen auf 150 Jahre verkürzt.

Der AR6 beschränkt seine Schätzungen von TCR und ECS auf vier Beweislinien: Prozessverständnis (hauptsächlich Rückkopplungen), Klimamodellsimulationen, historische Beobachtungen und paläoklimatische Beobachtungen sowie eine fünfte Kategorie, die sie als Synthese von Beweisen bezeichnen, um diese neue ECS-Bewertung zu erklären:

„Alle vier Beweislinien stützen sich bis zu einem gewissen Grad auf Klimamodelle, und die Interpretation der Beweise profitiert oft von der Modellvielfalt und der Streuung der modellierten Klimasensitivität. ... im Gegensatz zu früheren Bewertungen werden die Klimamodelle im Sechsten Sachstandsbericht des IPCC nicht als eigenständige Beweislinie betrachtet.“ AR6, Seite 1024.

Wie oben erläutert, ist ECS nicht messbar, da es von einem unrealen Modellszenario abgeleitet ist. Im AR6 werden ECS und TCR als „idealisierte Größen ... bezeichnet, die aus [Beobachtungen] abgeleitet oder direkt mit Hilfe von Klima-[Modell-]Simulationen geschätzt werden können.“ [7] Daher erfordern alle Versuche, sie in der Natur zu schätzen, irgendeine Art von Modell, um die Messungen in das modellierte ECS- oder TCR-Szenario des AR6 zu transformieren.

Nic Lewis und Judith Curry versuchen, die Umrechnung von Temperatur- und CO₂-Beobachtungen zu vereinfachen, indem sie sorgfältig Zeiträume auswählen, in denen die natürlichen Kräfte so vergleichbar wie möglich sind. Sie berücksichtigen jedoch nur Vulkanismus und große Ozeanschwankungen wie ENSO und die Atlantische Multidekadische Oszillation (AMO). Wir werden in Teil 4 mehr über diesen Gedanken sagen.

Im 19. Jahrhundert war die Welt kühler und die Kleine Eiszeit ging gerade zu Ende. Aus diesem Grund gab es damals weniger El Niños als heute. El Niños entstehen durch überschüssige Wärme im Pazifischen Ozean, die in die Atmosphäre abgeleitet werden muss. Sie erwärmen die Erdoberfläche für einige Jahre, aber längerfristig wirken sie kühlend. [8] Die Anzahl und Stärke starker El Niños nimmt zu, wenn Warmzeiten enden und die Welt kälter wird, wie am Ende der mittelalterlichen Warmzeit, als die Erde von ~1050 n. Chr. bis ~1400 n. Chr. in die Kleine Eiszeit eintauchte. Sobald die Welt kälter wurde, nahmen ihre Stärke und

Anzahl ab, wie bis zum Ende des 20. Jahrhunderts beobachtet worden war. [9]

Es wird zwar viel darüber diskutiert, aber es ist wahrscheinlich, dass die Sonnenvariabilität ebenfalls eine Rolle beim Klimawandel spielt und dass die Sonne im 19. Jahrhundert weniger aktiv war als während des modernen Sonnenmaximums von ~1935 bis ~2005. [10] Während das IPCC der Ansicht ist, dass die Sonnenvariabilität und andere natürliche Faktoren, abgesehen von Vulkanen über kurze Zeiträume, keine Rolle bei den Klimaveränderungen der letzten 270 Jahre spielen, [11] haben Javier Vinós und Ronan Connolly et al. [12] deutliche Beweise vorgelegt, dass dies nicht der Fall ist. Die Berechnungen, die Lewis und Curry zur Umrechnung ihrer Messungen in die modellierten Größen ECS und TCR angestellt haben, könnten also durch natürliche Faktoren beeinflusst worden sein, die sie nicht berücksichtigt haben. Dennoch liegen ihre Berechnungen von ECS und TCR deutlich unter den wahrscheinlichen Untergrenzen des IPCC von 2,5°C bzw. 1,4°C. Die Tabellen mit den Schätzungen von ECS und TCR werden in Teil 3 vorgestellt.

Neben TCR und ECS ist die klassische Größe der Klimasensitivität, die wir einfach als „Klimasensitivität gegenüber CO₂“ bezeichnen, vollständig evidenzbasiert und wird aus Beobachtungen ermittelt. Die klassische Größe lässt sich am besten als Empfindlichkeit der Lufttemperatur an der Oberfläche (SATS) gegenüber einem Anstieg des CO₂ definieren. [13] Die für SATS verwendeten Einheiten sind Grad C pro Watt pro Quadratmeter Treibhausgas. Wenn man davon ausgeht, dass der gesamte Antrieb auf CO₂ zurückzuführen ist, kann der Wert in °C/2xCO₂ umgerechnet werden. Die weitere Umrechnung dieses Wertes in ECS oder TCR erfordert Annahmen über die Zeit, die die Erdoberfläche (vor allem die Ozeane) benötigt, um mit der Veränderung des Antriebs ins Gleichgewicht zu kommen, einschließlich aller Rückkopplungen auf die CO₂-verursachte Erwärmung. In den Tabellen in Teil 3 sind viele dieser beobachtungsbasierten Schätzungen der Klimasensitivität aufgeführt. Einige von ihnen, darunter Lewis und Curry, verwenden einfache Modelle, um die Messungen in Pseudo-ECS und TCR zu übersetzen. Dabei werden in der Regel die gleichen Annahmen wie beim IPCC für das Umrechnungsmodell verwendet. Andere Schätzungen der klassischen Klimasensitivität stützen sich auf die Messwerte, gehen aber von einem Antrieb für die beobachteten CO₂-Veränderungen aus.

Der auf dem Mauna Loa [14] gemessene atmosphärische CO₂-Anstieg beträgt etwa 2 ppm (0,5 %) pro Jahr und ist damit nicht weit von dem in der TCR festgelegten Wert von 1 % pro Jahr entfernt. Seit der vorindustriellen Ära bzw. der Kleinen Eiszeit ist der CO₂-Anteil um etwa 50 % gestiegen (eine halbe Verdoppelung), so dass wir uns in einer Zeit befinden, in der die TCR relevant ist.

Wie bereits erwähnt, werden im AR6 keine Modelle zur direkten Berechnung von ECS und TCR verwendet, wie es in der Vergangenheit der Fall war. Stattdessen werden fünf Beweislinien herangezogen, um die endgültigen

ECS- und TCR-Modellberechnungen einzuschränken [15]. Dieser Prozess wird in Sherwood et al.[16] und in Abschnitt 7.5 des AR6 sehr detailliert dargelegt. Sherwoods Analyse versucht zu zeigen, dass alle Werte, die in der aktuellen ECS-Berechnung verwendet werden, eng begrenzt sind, mit Ausnahme der Rückkopplung der Wolken auf die Oberflächenerwärmung und insbesondere der Rückkopplung aufgrund von Wolken in niedrigeren Höhen. Es ist wichtig zu verstehen, dass alle Verfahren, die der AR6 verwendet, um seine Schätzungen von ECS und TCR einzuschränken, bis zu einem gewissen Grad auf Klimamodellen beruhen. Wir zeigen die Beziehung zwischen Wolkenrückkopplung und ECS in Teil 2.

Die statistischen Analyseverfahren, die Sherwood et al. verwenden, um verschiedene Schätzungen der Klimasensitivität in eine Spanne zu integrieren, sind subjektiv und ernsthaft fehlerhaft, wie Nic Lewis zeigt. [17] Lewis korrigierte ihre Fehler und senkte ihre Schätzung der Klimasensitivität von 3,23 auf 2,16 K, also um etwa 33 %. Nic Lewis weist darauf hin, dass „die Klimasensitivität auf der Grundlage verschiedener Arten von Belegen geschätzt wurde, aber keiner dieser Belege hat ihren Wert eng eingegrenzt“.

AR6 isoliert die Prozesse, die ihrer Meinung nach zur Erwärmung beitragen, und schränkt sie durch Beobachtungen ein; dies ist ein vernünftiger Ansatz, wenn die gesamte Bandbreite möglicher Prozesse, die die Erwärmung beeinflussen, berücksichtigt wird. Die Autoren von Connolly et al. [18] sind der Meinung, dass AR6 den potenziellen Einfluss der Sonnenvariabilität nicht angemessen berücksichtigt hat. Connolly, et al. zeigen, dass die Sonneneinstrahlung und andere solare Schwankungen viel wichtiger sein könnten als vom IPCC angenommen. Wie aus Abbildung 1 hervorgeht, ist die AR6-Schätzung der natürlichen Erwärmung (Vulkanismus und Sonnenvariabilität) gleich Null oder leicht negativ.

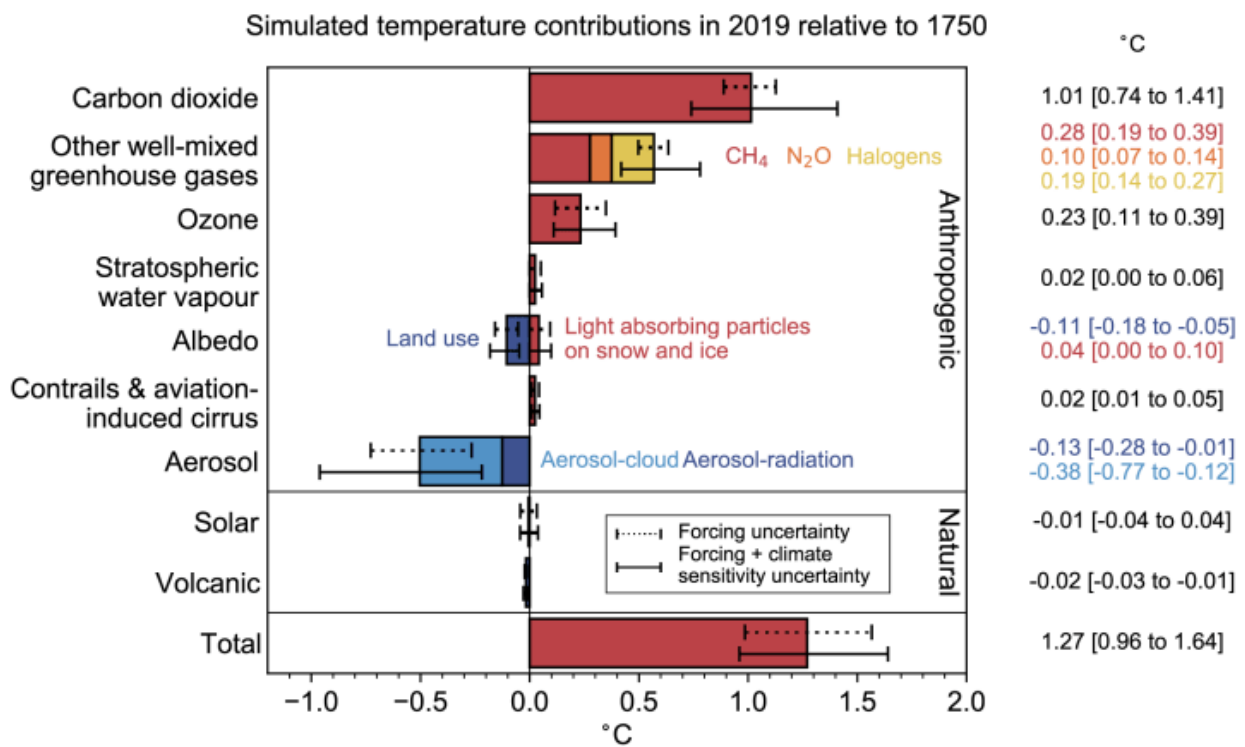


Abbildung 1. Im AR6 geschätzte Beiträge zur Temperaturänderung von 1750 bis 2019, mit Unsicherheiten. Der angenommene natürliche Beitrag ist null oder leicht negativ, plus oder minus eines kleinen Betrags. Quelle: AR6, Kapitel 7, Seite 961.

Die globale Erwärmung von 1971 bis 2018 beträgt laut HadCRUT4 etwa 0,85 °C. [19] Laut AR6 [20] entspricht dies einem Energieungleichgewicht an der Oberseite der Atmosphäre (TOA) von +0,57 W/m² (+0,2 % der von der Sonne einfallenden ~340 W/m²) für denselben Zeitraum. Damit sich die Erdoberfläche erwärmen kann, muss sie mehr Wärmeenergie zurückhalten, als sie in den Weltraum abgibt. Wenn dieses Ungleichgewicht der Oberflächenenergie, das in Watt pro Quadratmeter Oberfläche (W/m²) gemessen wird, eine Erwärmung verursacht, ist es vereinbarungsgemäß positiv. Ein Teil der überschüssigen Energie erwärmt die Oberfläche, und die wärmere Oberfläche und die untere Atmosphäre strahlen mehr Energie in den Weltraum ab, was zu dem positiven Anstieg der Emissionen am TOA um 0,57 W/m² führt.

Wenn wir also davon ausgehen, dass die gesamte Oberflächenerwärmung auf die Zunahme von CO₂ und anderen Treibhausgasen (THG) zurückzuführen ist, beträgt die Empfindlichkeit der Oberflächenlufttemperatur (SATS) gegenüber THG etwa 1,6°C/W/m², wenn sich sonst nichts ändert. Dies ist eine außerordentlich hohe Zahl. Die klassischen Werte, die auf Beobachtungen beruhen, [21] liegen in der Regel zwischen 0,1°C/W/m² und 0,5°C/W/m². Dies deutet darauf hin, dass die jüngste Erwärmung nicht ausschließlich auf Treibhausgase zurückzuführen ist.

Die Ozeane sind kurzfristig kein wirklicher Faktor, da die von CO₂ und anderen Treibhausgasen emittierte Infrarotstrahlung nicht weit unter die Meeresoberfläche vordringen kann, wie es das Sonnenlicht tut. Neunzig Prozent der einfallenden IR-Strahlung wird im ersten Meter des Ozeans absorbiert und kurz darauf wieder emittiert oder verdunstet. IR erwärmt die Meeresoberfläche, und ein Teil dieser Wärme gelangt durch Wärmeleitung und turbulente Vermischung in die tieferen Schichten des Ozeans, aber IR ist nicht so durchlässig für die Tiefen des Ozeans wie sichtbares Licht, insbesondere blaues Licht. [22]

Wenn die AR6-Schätzung des Strahlungsungleichgewichts korrekt ist, gab es im 48-Jahres-Zeitraum von 1971 bis 2018 ein durchschnittliches Ungleichgewicht von 0,01 W/m² pro Jahr. Das ist winzig und liegt weit unter dem, was wir heute messen können. Die Genauigkeit unserer Satellitenmessungen der ein- und ausgehenden Strahlung der Erde ist nicht besser als ±2 W/m². [23] Neben dem Beitrag der Treibhausgase gibt es noch andere natürliche Faktoren, wie z. B. Veränderungen der Wolkenbedeckung und des Wolkentyps, die eine große Rolle bei der Erhöhung oder Verringerung des Strahlungsungleichgewichts an der Erdoberfläche spielen können.

In Teil 2 dieser Serie werden wir die größte Unsicherheit in der AR6 ECS-Schätzung, die Wolkenrückkopplung, untersuchen. In Teil 3 der Serie werden wir die AR6 ECS- und TCR-Schätzungen mit beobachtungsbasierten Schätzungen vergleichen. Einige der auf Beobachtungen basierenden Schätzungen werden von AR6 berücksichtigt, andere nicht. Wir werden sehen, dass viele beobachtungsbasierte Schätzungen der Klimasensitivität deutlich unter der wahrscheinlichen unteren Grenze von 2,5°C des AR6 liegen.

In Teil 4 untersuchen wir schließlich, wie Lewis und Curry [24] ihre ausgewählten Beobachtungen in einen Wert umwandeln, der mit dem vollständig modellbasierten Wert namens „ECS“ verglichen werden kann. Es ist ungewöhnlich, Messwerte in Modellwerte umzuwandeln, normalerweise wird es andersherum gemacht, aber ist ihre Umwandlung gültig? Welche Annahmen werden dabei getroffen? Der ECS von Lewis und Curry ist deutlich niedriger als die wahrscheinliche untere Schranke des AR6, wie ist dieser Unterschied zu interpretieren?

The bibliography can be downloaded [here](#).

1. (IPCC, 2021) or AR6. [↑](#)
2. Charney, J., Arakawa, A., Baker, D., Bolin, B., Dickinson, R., Goody, R., . . . Wunsch, C. (1979). *Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment*. National Research Council. Washington DC: National Academies Press. doi: <https://doi.org/10.17226/12181> [↑](#)
3. (Charney, et al., 1979, p. 8) [↑](#)
4. Dessler, A. E. (2013). Observations of Climate Feedbacks over 2000-10 and Comparisons to Climate Models. *J of Climate*, 333-342. [↑](#)
5. Sherwood, S. C., Webb, M. J., Annan, J. D., Armour, K. C., J., P.

- M., Hargreaves, C., . . . Knutti, R. (2020, July 22). An Assessment of Earth's Climate Sensitivity Using Multiple Lines of Evidence. *Reviews of Geophysics*, 58. [↑](#)
6. AR6, p 992 [↑](#)
 7. AR6, p 992 [↑](#)
 8. Vinós, J. (2022). *Climate of the Past, Present and Future, A Scientific Debate*. Spain: Critical Science Press. Pages 53-54. [Link.](#)
[↑](#)
 9. (Moy, Seltzer, & Rodbell, 2002) [↑](#)
 10. Vinós, J. (2022). *Climate of the Past, Present and Future, A Scientific Debate*. Spain: Critical Science Press. Page 192 and Connolly et al., R. (2021). How much has the Sun influenced Northern Hemisphere temperature trends? *Research in Astronomy and Astrophysics*, 21(6). [Link.](#) [↑](#)
 11. AR6, page 961. [↑](#)
 12. Connolly et al., R. (2021). How much has the Sun influenced Northern Hemisphere temperature trends? *Research in Astronomy and Astrophysics*, 21(6). [↑](#)
 13. Newell, R., & Dopplick, T. (1979). Questions Concerning the Possible Influence of Anthropogenic CO2 on Atmospheric Temperature. *J. Applied Meteorology*, 18, 822-825 and (Idso S. , 1998). [↑](#)
 14. [Global Monitoring Laboratory – Carbon Cycle Greenhouse Gases \(noaa.gov\)](#) [↑](#)
 15. AR6, page 993 [↑](#)
 16. Sherwood, S. C., Webb, M. J., Annan, J. D., Armour, K. C., J., P. M., Hargreaves, C., . . . Knutti, R. (2020, July 22). An Assessment of Earth's Climate Sensitivity Using Multiple Lines of Evidence. *Reviews of Geophysics*, 58. [doi:https://doi.org/10.1029/2019RG000678](https://doi.org/10.1029/2019RG000678)
[↑](#)
 17. Lewis, N. (2022). Objectively combining climate sensitivity evidence. *Climate Dynamics*. [↑](#)
 18. Connolly et al., R. (2021). How much has the Sun influenced Northern Hemisphere temperature trends? *Research in Astronomy and Astrophysics*, 21(6). [↑](#)
 19. (Met Office Hadley Centre, 2017) [↑](#)
 20. AR6 p 937 [↑](#)
 21. Newell, R., & Dopplick, T. (1979). Questions Concerning the Possible Influence of Anthropogenic CO2 on Atmospheric Temperature. *J. Applied Meteorology*, 18, 822-825. and Idso, S. (1998). CO2-induced global warming: a skeptic's view of potential climate change. *Climate Research*, 10(1), 69-82. [↑](#)
 22. Homewood, P. (2015, May 28). *Yes, The Ocean Has Warmed; No, It's Not Global Warming*. Retrieved from [Not a Lot of People Know That](#). Also see Britannica [here.](#) [↑](#)
 23. Loeb, N. G., Doelling, D., Wang, H., Su, W., Nguyen, C., Corbett, J., & Liang, L. (2018). Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) Energy Balanced and Filled (EBAF) Top-of-Atmosphere (TOA) Edition-4.0 Data Product. *Journal of Climate*, 31(2). [↑](#)
 24. (Lewis & Curry, The impact of recent forcing and ocean heat uptake

data on estimates of climate sensitivity, 2018) [↑](#)

Link:

<https://andymaypetrophysicist.com/2023/04/24/the-mysterious-ar6-ecs-part-1/>

Übersetzt von [Christian Freuer](#) für das EIKE